



# Orman İşletmelerinde ORKOD Kullanımının Orman Topraklarında Oluşturduğu Kümülatif Plastik Yükün Hesaplanması ve Ekolojik Risk Değerlendirmesi

## Calculation of Cumulative Plastic Load and Ecological Risk Assessment in Forest Soils Caused by ORKOD Use in Forest Enterprises

Güçlü İlker Müftüoğlu <sup>1\*</sup> , Makbule Müftüoğlu <sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Demirci Meslek Yüksekokulu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, 45900 Manisa, Türkiye

<sup>2</sup> Bağımsız Araştırmacı, 45900 Manisa, Türkiye

### MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi : 1/03/2026  
Kabul Tarihi : 20/04/2026

Atıf:  
Müftüoğlu, İ. G., & Müftüoğlu, M. (2026). Orman İşletmelerinde ORKOD Kullanımının Orman Topraklarında Oluşturduğu Kümülatif Plastik Yükün Hesaplanması ve Ekolojik Risk Değerlendirmesi. *Ağaç ve Orman*. 7(1), 18-26.

\*Sorumlu yazar:  
Güçlü İlker Müftüoğlu  
E-mail:  
ilker.muftuoglu@cbu.edu.tr

**Anahtar Kelimeler / Keywords:**  
Ekolojik risk / Ecological risk  
Mikroplastik / Microplastic  
ORKOD / ORKOD  
Toprak kirliliği / Soil pollution

© Telif hakkı 2005 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir:  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

### ÖZET

Bu çalışmada, ormancılık faaliyetlerinde üretim sürecinin izlenebilirliği amacıyla kullanılan ORKOD sisteminin orman ekosistemlerine potansiyel plastik girdisi hesaplanmış ve olası çevresel etkileri literatür temelli bir değerlendirme çerçevesinde analiz edilmiştir. Çalışma alanı olarak İzmir Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Demirci Orman İşletme Müdürlüğü seçilmiştir; 2026 yılı üretim programında öngörülen 40.000 adet ORKOD kullanımı esas alınmıştır. Hassas terazi ölçümleri sonucunda dip kütük üzerinde kalan birim ORKOD materyalinin ortalama ağırlığı 2,42 gr olarak belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanının yıllık toplam plastik girdisi 96,8 kg olarak hesaplanmıştır. İşletme müdürlüğünün 143.187 hektarlık sorumluluk alanı dikkate alındığında, yıllık ortalama plastik yükünün yaklaşık 0,68 gr/ha düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. Kullanımın süreklilik arz etmesi durumunda üretim miktarının üç yıllık süreçte kümülatif plastik girdisinin asgari 2,04 gr/ha düzeyine ulaşabileceği öngörülmüştür. Doğrudan sahada mikroplastik analiz yapılmamış olmakla birlikte, mevcut bilimsel literatür ışığında plastik materyalin zamanla fiziksel parçalanma ve çevresel etkileşimler sonucunda mikroplastik formuna dönüşebileceği; bunun da toprak yapısı, mikrobiyal faaliyetler ve ekosistem süreçleri üzerinde potansiyel riskler oluşturabileceği değerlendirilmiştir. Bulgular, ORKOD sisteminin işlevsel katkıları korunmakla birlikte, plastik esaslı bileşenlerin uzun vadeli çevresel etkilerinin sürdürülebilir ormancılık ilkeleri doğrultusunda yeniden ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

### ABSTRACT

This study calculated the potential plastic input of the ORKOD system, used for traceability of the production process in forestry activities, into forest ecosystems and analyzed its possible environmental impacts within a literature-based evaluation framework. The study area was selected as the Demirci Forest Management Directorate under the İzmir Forest Regional Directorate; the use of 40,000 ORKOD units projected in the 2026 production program was used as the basis. As a result of precision balance measurements, the average weight of a unit of ORKOD material remaining on the buttstock was determined to be 2.42 g. Accordingly, the total annual plastic input for the study area was calculated to be 96.8 kg. Considering the 143,187-hectare area of responsibility of the management directorate, the average annual plastic load was determined to be approximately 0.68 g/ha. If usage continues, it is projected that the cumulative plastic input from production could reach a minimum level of 2.04 g/ha over a three-year period. Although no direct microplastic analysis was conducted in the field, it was considered, in light of the existing scientific literature, that plastic materials may gradually transform into microplastics through physical fragmentation and environmental interactions over time, potentially posing risks to soil structure, microbial activity, and ecosystem processes. The findings indicate that while the functional contributions of the ORKOD system should be preserved, the long-term environmental impacts of plastic-based components need to be re-evaluated in line with sustainable forestry principles.

## 1. Giriş

Sürdürülebilir ormancılık uygulamalarında üretim süreçlerinin izlenebilirliği ve denetlenebilirliği, etkin kaynak yönetiminin temel bileşenleri arasında yer

almaktadır. Bu kapsamda geliştirilen dijital işaretleme sistemleri, kesilecek ağaçların belirlenmesi ve üretim sonrası orman emvalinin takibinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizde “Ormancılık Faaliyetlerinde Kullanılacak Damga veya Damga Yerine Geçecek İşaretlere Ait Yönetmelik” hükümleri doğrultusunda uygulamaya konulan ORKOD sistemi, geleneksel damgalama yönteminin yerine geçen, ORBİS ile entegre çalışan ve elektronik olarak okunabilen bir işaretleme mekanizmasıdır. Kesilecek veya usulsüz kesilmiş ağaçların belirlenmesi ile bu ağaçlardan elde edilen emvalin izlenebilirliğini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Resmî Gazete, 2024).

Bununla birlikte, ORKOD’un teknik ve idari işlevselliğinin yanı sıra materyal bileşiminin çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Plastik esaslı etiket formunda uygulanan ORKOD’un kesim sonrası dip kütük üzerinde bırakılması ve kütüğün doğal ayrışma süreci tamamlandığında toprak ortamında kalıcı hale gelmesi olasıdır. Orman üretim faaliyetlerinde kullanım miktarının yüksekliği dikkate alındığında, uzun vadede orman ekosistemlerinde kümülatif plastik birikimi oluşabileceği değerlendirilmektedir.

Plastik materyaller, düşük üretim maliyeti, yüksek mekanik dayanım ve işlenebilirlik özellikleri nedeniyle hem endüstriyel uygulamalarda hem de günlük tüketim pratiklerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. OECD (2022) verilerine göre 2060 yılına kadar küresel plastik üretiminin 1.230 milyon tona, plastik atık miktarının ise 1.014 milyon tona ulaşacağı öngörülmektedir. Çevresel ortamlara bırakılan plastik atıklar; ultraviyole (UV) ışınımı, fotooksidatif süreçler, mekanik aşınma ve biyolojik etkileşimler gibi fiziksel ve kimyasal süreçlerin etkisiyle zaman içerisinde daha küçük parçalara ayrılmaktadır (Guo vd., 2020; OECD, 2022). Çapı 5 mm’den küçük olan bu plastik parçacıklar “mikroplastik” olarak tanımlanmakta olup, çevresel ortamlarda kalıcılık gösteren ve yaygın biçimde dağılım sergileyen kirleticiler arasında değerlendirilmektedir (Browne vd., 2011; Cózar vd., 2014; Rillig & Lehmann, 2020).

ORKOD’un orman üretim faaliyetlerinde kullanımı sonucunda, plastik barkodların çoğunlukla kütük yüzeyinde sabit kalması, zamanla fiziksel parçalanma süreçleri ile mikroplastik formuna dönüşebileceği ve bu dönüşümün uzun vadede ve lokal ölçekte toprak özellikleri ile biyolojik süreçler üzerinde etkiler oluşturabileceği öngörülmektedir.

Son yıllarda toprak ortamındaki mikroplastiklerin agregat stabilitesi, porozite, su tutma kapasitesi ve

mikrobiyal çeşitlilik üzerinde değişimlere yol açabileceğini ortaya koyan çalışmalar artış göstermektedir (Ingraffia vd., 2022; Qiu vd., 2022; Chen vd., 2024; Das & Alam, 2024). Benzer şekilde mikroplastik birikiminin toprak fiziksel özelliklerinin yanı sıra biyolojik aktivite ve ekosistem işleyişi üzerinde de etkili olabileceği bildirilmektedir (Akça & Ok, 2021; Monkul & Özhan, 2021). Ayrıca mikro ve nanoplastiklerin parçalanma süreçleri sonucunda oluşan ikincil kirleticilerin toprak organizmaları ve bitki gelişimi üzerinde potansiyel ekotoksikolojik riskler oluşturabileceği ifade edilmektedir (Özkan Dağhoğlu & Öztürk, 2024).

Mevcut literatür incelendiğinde, mikroplastiklerin tarım ve kentsel topraklardaki etkilerine ilişkin çalışmaların yoğunlaştığı; ormancılık faaliyetleri kapsamında kullanılan plastik esaslı işaretleme materyallerinin orman topraklarında oluşturabileceği potansiyel plastik yüküne yönelik araştırmaların ise sınırlı olduğu görülmektedir. Yapılan yerli literatür incelemesi kapsamında ORKOD uygulamalarının toprak ortamında oluşturabileceği plastik birikimini doğrudan ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, ORKOD uygulamalarının orman topraklarında oluşturabileceği muhtemel plastik birikimi çevresel sürdürülebilirlik çerçevesinde değerlendirilmiştir. Araştırmanın temel problemi, üretim süreci sonrasında dip kütük üzerinde kalan ORKOD materyalinin toprak ortamında oluşturabileceği plastik yükün kapsamının ve olası ekolojik etkilerinin incelenmesidir. Bu doğrultuda, ORKOD’un materyal özellikleri, kullanım yoğunluğu ve toprak ortamındaki kalıcılığı dikkate alınarak orman ekosistemi üzerindeki potansiyel etkileri analiz edilmiştir.

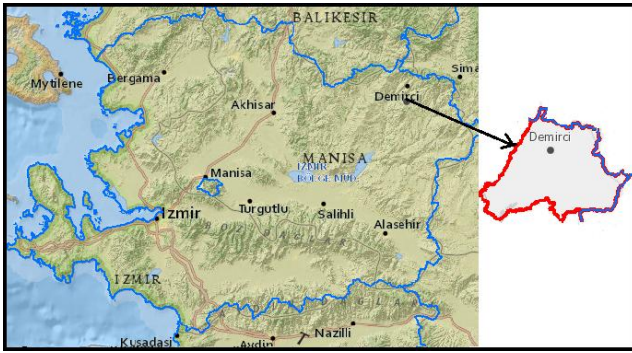
## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Çalışma alanı İzmir Orman Bölge Müdürlüğü (İzmir OBM) sınırları içerisinde yer alan Demirci Orman İşletme Müdürlüğüdür. İzmir OBM, Orman Genel Müdürlüğü’ne (OGM) bağlı olarak Ege Bölgesi’nin kuzey ve orta kesimlerinde ormancılık faaliyetlerini yürütmektedir. 1951 yılında kurulan bölge müdürlüğü; orman kaynaklarının korunması, geliştirilmesi, işletilmesi ve sürdürülebilir yönetimine yönelik teknik ve idari süreçleri koordine etmektedir. Kurumun görev alanı ağırlıklı olarak İzmir ve Manisa illerini kapsamakta olup faaliyetler, İzmir, Menderes,

Bayındır, Bergama, Akhisar, Alaşehir, Demirci, Gördes, Salihli ve Turgutlu Orman İşletme Müdürlükleri aracılığıyla yürütülmektedir (Şekil 1). Bu işletme müdürlüklerine bağlı 99 orman işletme şefliği tarafından 1.022.076 hektar alanda üretim, silvikültürel bakım, gençleştirme, yangınla mücadele, kadastro ve koruma çalışmaları gerçekleştirilmektedir (OGM, 2025a).

Çalışma alanı olarak seçilen Demirci Orman İşletme Müdürlüğü Akpınar, Başalan, Borlu, Demirci, Durhasan, Kılavuzlar, Köprübaşı ve Selendi orman işletme şeflikleri ile Ağaçlandırma ve Toprak Muhafaza Şefliği aracılığıyla faaliyetlerini sürdürmektedir. Toplam 143.187 hektar alana sahip işletme müdürlüğü sınırları içerisindeki orman alanlarının %32,2'si normal kapalı, %67,8'i ise boşluklu kapalılık özelliği göstermektedir (OGM, 2025b)



Şekil 1: Çalışma alanı (Demirci Orman İşletme Müdürlüğü sınırı) (OGM, 2025c).

Figure 1: ORKOD application used instead of tree felling stamp (OGM, 2025c).

Demirci yöresi, iklim ve topoğrafik özelliklerin etkisi altında farklı orman vejetasyon tiplerine ev sahipliği yapmaktadır. Bölgede doğal orman kuruluşunu başlıca kızılçam (*Pinus brutia* Ten. var. *brutia*), karaçam (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana*), palamut meşesi (*Quercus ithaburensis* subsp. *macrolepis*) ve saçlı meşe (*Quercus cerris* var. *cerris*) oluştururken, sınırlı alanlarda doğu kayını (*Fagus orientalis*) ve katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*) da yayılım göstermektedir. Orman altı vejetasyonu ile bozuk orman alanlarında ise yabancı zeytin (*Olea europaea*), sakız (*Pistacia lentiscus*), akçakesme (*Phillyrea latifolia*), tespih (*Styrax officinalis*), ahlat (*Pyrus elaeagnifolia*), alıç (*Crataegus monogyna*), karaçalı (*Paliurus spina-christi*), funda (*Erica manipuliflora*), zakkum (*Nerium oleander*), menengiç (*Pistacia terebinthus*) ve laden (*Cistus laurifolius*) gibi maki türleri yaygın olarak bulunmaktadır. Bu maki elemanları, özellikle kızılçam ormanlarının tahrip

edildiği alanlarda geniş yayılım göstererek bozuk orman vejetasyonunun karakteristik bileşenlerini oluşturmaktadır. Yörede yer yer endemik türlere rastlanmakla birlikte, sıgırkuyruğu (*Verbascum luciliae*), sütleğen (*Euphorbia helioscopia*) ve geven (*Astragalus hamosus*) gibi türlerin varlığı, özellikle yoğun otlama baskısının görüldüğü alanlarda zootik klimaks koşullarını yansıtmaktadır. Ayrıca, meşe, kızılçam ve karaçam ormanlarının tahribi sonucunda bazı sahalarda antropojen step formasyonlarının geliştiği gözlenmektedir (Taşlı, 1992).

Demirci Orman İşletme Müdürlüğü'ne ait 2022–2041 dönemini kapsayan amenajman planı verilerine göre, 2025 yılı için yaklaşık 105.000 m<sup>3</sup> yıllık eta alınmıştır. 2026 yılı için 115.000 m<sup>3</sup> üretim öngörüldüğü ve 2027–2028 yıllarında ise üretim miktarının 110.000–120.000 m<sup>3</sup> aralığında devam edeceği ilgili işletme müdürlüğü yetkililerince tahmin edilmektedir. Söz konusu üretim hacmi, ORKOD kullanım miktarının üretim yoğunluğu ile ilişkili olarak değerlendirilmesine ve plastik girdinin ormancılık faaliyetleri bağlamında analiz edilmesine imkân sağlamaktadır. İşletme müdürlüğüne bağlı sekiz işletme şefliğinde yürütülen üretim faaliyetlerinde en fazla üretim sırasıyla karaçam (*Pinus nigra*), kızılçam (*Pinus brutia*) ve meşe türleri olarak saçlı meşe (*Quercus cerris*) ile anadolu palamut meşesi (*Quercus ithaburensis*) şeklinde gerçekleşmektedir.

## 2.2. ORKOD materyali ve fiziksel özellikleri

ORKOD yapılacak tüm planlı ve olağanüstü üretimler öncesi göğüs hizasındaki çapı 20 cm ve üzerindeki kesilecek ağaçların işaretlenmesinde kullanılmaktadır (Şekil 2). Sekiz köşeli formda tasarlanan ORKOD, kurumsal kimlik unsurlarını da barındırmakta ve üretim sürecinin hukuki ile teknik izlenebilirliğini sağlamaktadır (Resmî Gazete, 2024).



Şekil 2: Ağaç kesim damgası yerine kullanılan ORKOD Uygulaması (OGM, 2025c).

Figure 2: ORKOD application used instead of tree felling stamp (OGM, 2025c).

ORKOD; plastik, metal veya benzeri malzemelerden üretilmiş etiketler ile mikroçip ya da elektronik etiket formunda uygulanabilmekte olup, elektronik cihazlarla okunabilir nitelikte kod ve seri numarası içermektedir. Üretim sürecinde plastik malzemeden üretilen ORKOD etiketi doğrudan dip kütüğe uygulanmakta ve kesim sonrasında kütük üzerinde kalmaktadır (Resmî Gazete, 2024).

ORKOD materyalinin fiziksel boyutları 42 mm x 34 mm x 1mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3). Üzerinde sıra numarası takip eden, lazer markalama yöntemi ile barkod numarası basılı ve arka tarafında saplama tırnakları bulunan plastik bir etikettir. Ön yüzünde çekiç tutma tırnakları, arka yüzünde ise odunun baş tarafına saplanacak tırnakları vardır. Barkodlar gövde ve kupon olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Barkodların ön yüzünde gövde kısmına lazerle TR-OGM ismi barkod ile yazılı, barkodun kupon kısmında ise lazerle sadece barkod ve numara yazılıdır. Her iki parçadaki barkodlar, barkod okuyucu tarafından okunmaktadır. Çalışmada kullanılan ORKOD materyallerinin birim kütlesi laboratuvar ortamında hassas terazi ( $\pm 0,01$  gr duyarlılık) kullanılarak ölçülmüş ve ortalama ağırlık 2,42 gr olup PA 6 poliamid hammaddeneden üretilmiştir.



Şekil 3: ORKOD materyali ve ölçüm boyutları.

Figure 3: ORKOD material and measurement dimensions.

Poliamidler, yüksek kristalin yapıya sahip, amid bağları (CO–NH) içeren ve yüksek molekül ağırlıklı lineer polimerler olup; yüksek mekanik dayanım, aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı ve yüksek sıcaklık dayanımı gibi özellikleri sayesinde mühendislik plastikleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu üstün özellikleri nedeniyle genellikle yüksek performans gerektiren uygulamalarda tercih edilmekte ve çeşitli endüstriyel parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kaya, 2005).

Uygulamada kullanılan ORKOD' un malzeme içeriği dikkate alındığında, yaygın plastik polimerlerin doğal ortam koşullarında biyolojik olarak hızlı bir ayrışma göstermediği ve daha çok fiziksel parçalanma süreçleriyle daha küçük plastik fraksiyonlarına dönüştüğü literatürde kabul edilmektedir; bu süreç çoğu polimer için çok uzun süre devam edebilir ve mikropplastik kalıntılarının çevrede kalıcılığı artmaktadır (Kubowicz & Booth, 2017; Withana vd., 2025).

### 2.3. Yöntem

Çalışmada orman topraklarına giren plastik yükün belirlenmesi amacıyla kümülatif hesaplama yaklaşımı benimsenmiştir. Bu kapsamda, 2026 yılına ilişkin ORKOD kullanım verileri ilgili işletme müdürlüğünden temin edilmiş ve söz konusu yıl içinde sahada uygulanması planlanan toplam ORKOD sayısı esas alınmıştır. ORKOD materyalinin kütlesi hassas terazi ile ölçülmüş, yıllık toplam plastik yük toplam ORKOD sayısı ile birim ağırlığın çarpılması suretiyle hesaplanmıştır.

Amenajman planlarından elde edilen yıllık üretim verileri dikkate alınarak ORKOD kullanımının plan dönemi içerisindeki devamlılığı varsayılmış ve kümülatif birikim senaryosu oluşturulmuştur. Bu çerçevede amenajman planına ve işletmenin öngördüğü 2026 yılı için belirlenen ORKOD kullanım miktarının benzer üretim değerleri ile 2027 ve 2028 yılları ile birlikte, 3 yılın sonunda sahadaki asgari toplam plastik yük tahmin edilmiştir. Bu tahmin yaklaşımında plastik materyalin doğal ortamdan kısa sürede uzaklaşmadığı varsayımı esas alınmıştır. Bu çalışmada betimsel ve projeksiyon temelli kümülatif bir değerlendirme olup, saha ortamında mikropplastik ölçümü veya deneysel analiz içermemektedir.

### 3. Bulgular

Demirci Orman İşletmesi'nde 2026 yılı içerisinde sahada dip kütük üzerinde uygulanması planlanan toplam ORKOD sayısının, 8 işletme müdürlüğü kapsamında yaklaşık 40.000 adet olacağı bilinmektedir. Bununla birlikte, söz konusu miktarın amenajman planı ve üretim hacmine bağlı olarak yıl içerisinde artış gösterebileceği değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, ORKOD kullanımına ilişkin hesaplamalar, temin edilebilen ve kullanılacak asgari değer olan 40.000 adet üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlere göre her bir ORKOD materyalinin ortalama ağırlığı 2,42 gr olup, toplam kullanım miktarı



ile birlikte değerlendirildiğinde 2026 yılı sonu itibarıyla sahada birikecek asgari plastik yükün yaklaşık 96,8 kg düzeyinde olacağı hesaplanmıştır. İşletmenin toplam 143.187 hektarlık alanı dikkate alındığında ise yıllık ortalama plastik girdisinin hektar başına yaklaşık 0,68 gr/ha olduğu belirlenmiştir.

Amenajman planlarından ve işletme kayıtlarından elde edilen yıllık üretim verileri esas alınarak, ORKOD kullanımının plan dönemi boyunca üretim hacmine paralel şekilde devam edeceği ve 2027 ile 2028 yıllarında kullanım miktarının 2026 yılı seviyelerine yakın gerçekleşeceği varsayılmıştır. Bununla birlikte, ormancılık uygulamalarının doğası gereği bakım kesimlerinin aynı sahada ardışık yıllarda gerçekleştirilmediği, meşcerelere yaş sınıflarına bağlı olarak belirli aralıklarla müdahale edildiği ve gençleştirme alanlarında yeniden ürün alınabilir çaplara ulaşılmasının uzun bir süre gerektirdiği bilinmektedir.

Bu çerçevede, çalışmada kullanılan kümülatif birikim yaklaşımı, belirli bir meşcerede ardışık müdahaleleri değil; işletme genelinde farklı yaş sınıflarına sahip meşcerelerde eş zamanlı yürütülen üretim faaliyetlerinin toplam etkisini yansıtan üst ölçekli bir projeksiyon olarak ele alınmıştır. Başka bir ifadeyle, hesaplama yaklaşımı aynı sahaya tekrarlayan müdahaleler üzerinden değil, amenajman ünitesi genelinde üretim faaliyetlerinin sürekliliği varsayımına dayanmaktadır.

Bununla birlikte, meşcere bazında ve idare süresi boyunca hektar başına düşen toplam ORKOD kullanımının; bakım sıklığı, elde edilen tomruk sayısı ve son hasılat miktarı dikkate alınarak hesaplanması, daha ayrıntılı ve süreç temelli bir değerlendirme sunabilecektir. Bu çalışma ise söz konusu yaklaşımı dışlamamakta, aksine işletme ölçeğinde potansiyel plastik birikiminin ortaya konulmasına yönelik ilk düzey bir projeksiyon sunmaktadır.

Plastik materyalin doğal ortamda kısa sürede tamamen uzaklaşmadığı kabulü altında gerçekleştirilen kümülatif birikim senaryosu analizine göre, kullanımın süreklilik arz etmesi durumunda üç yılın sonunda işletme genelinde ve farklı meşcere kuruluşları itibarıyla asgari kümülatif plastik yükün yaklaşık 2,04 gr/ha düzeyine ulaşacağı öngörülmektedir.

## 4. Tartışma

### 4.1. Mikroplastik oluşum potansiyeli

Toplam plastik yük ve kümülatif plastik yüke bağlı elde edilen bulgular ışığında mikroplastik oluşum potansiyeli işletme sahasında kaçınılmazdır. Mikroplastikler, polimerik yapıları nedeniyle çevresel ortamlarda yüksek derecede kararlılık gösterirler ve doğal koşullarda biyolojik olarak hızlı bir şekilde ayrışmaları beklenmez; bu durum, gözenekli yapıları ve C-C omurgalı polimerlerin düşük reaktivitesi ile ilişkilidir (Cheng vd., 2023). Çeşitli araştırmalar, plastik parçacıklarının ultraviyole ışınımı, mekanik aşınma ve iklimsel faktörlerin etkisiyle daha küçük fraksiyonlara fiziksel olarak parçalanabildiğini, ancak bu süreçlerin tamamen mineralizasyon ile sonuçlanmasının çok uzun zaman aldığını ve mikroplastik kalıntıların toprak matrisinde birikme eğiliminde olduğunu göstermektedir (Cheng vd., 2023; Withana vd., 2025).

### 4.2. Ekolojik risk değerlendirmesi

#### 4.2.1. Toprağın fiziksel özellikleri üzerine olası etkiler

Toprak ortamında biriken plastik ve mikroplastik parçacıklarının, toprak fiziksel yapısını çok boyutlu biçimde etkileyebileceği literatürde de ortaya konulmaktadır. Mikroplastiklerin agregat stabilitesi üzerinde değişimlere yol açabildiği, partikül morfolojisi ve konsantrasyonuna bağlı olarak toprak tanecikleri arasındaki bağlanma mekanizmalarını zayıflatabildiği bildirilmektedir (Chen vd., 2024). Bunun yanı sıra plastik parçacıklarının gözenek dağılımını değiştirerek toplam porozite, infiltrasyon hızı ve su tutma kapasitesi üzerinde etkili olabileceği ifade edilmektedir (Qiu vd., 2022). Özellikle lifsi ve düzensiz şekilli mikroplastiklerin, toprak matrisinde heterojen boşluk yapıları oluşturarak su hareketi ve gaz değişimini modifiye edebileceği; bunun da uzun vadede hidrofiziksel dengeyi etkileyebileceği belirtilmektedir (Ingraffia vd., 2022). Mikroplastikler, yaygın dağılımları ve ilişkili çevresel riskleri nedeniyle, küresel ölçekte toprak ekosistemlerinde önemli kirleticiler olarak giderek daha fazla kabul görmektedir (Yang vd., 2021; De Almeida vd., 2023). Bu çerçevede, orman topraklarında düşük yoğunluklu ancak bu çalışmada tahmin edilen plastik yükün (gr/ha) düşük düzeyde olması nedeniyle, söz konusu etkilerin kısa vadede belirgin olmaktan ziyade uzun vadeli ve kümülatif birikim süreçleri kapsamında ortaya çıkabileceği değerlendirilmektedir.

#### 4.2.2. Toprağın biyolojisi üzerine olası etkiler

Mikroplastiklerin toprak ekosisteminde yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda biyolojik süreçler üzerinde de etkili olabileceği literatürde çeşitli çalışmalarda da gösterilmiştir. Plastik parçacıklarının mikrobiyal topluluk kompozisyonunu değiştirebildiği ve mikrobiyal biyokütle ile çeşitlilik üzerinde konsantrasyona bağlı farklılaşmalar oluşturabildiği bildirilmektedir (Akça & Ok, 2021). Yapılan çalışmalar, mikroplastiklerin karbon (C) ve azot (N) döngüsü başta olmak üzere toprak mikrobiyal aktivitesi ve bitki besin elementlerinin bitkiler tarafından alım süreçleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini ortaya koymaktadır (Cao vd., 2017; Liu vd., 2017; Rillig, 2012, 2018). Nitekim toprağa mikroplastik ilavesinin, çözünmüş organik karbon ve çözünmüş organik azot konsantrasyonlarını artırarak toprakta C ve N havuzlarının dinamiklerini değiştirdiği; ayrıca  $\text{NH}_4^+$  ve  $\text{NO}_3^-$  gibi inorganik azot formlarının dağılımında farklılaşmalara yol açtığı deneysel çalışmalarla gösterilmiştir (Liu vd., 2017). Bununla birlikte mikroplastiklerin yüksek karbon içeriğine sahip olması ve toprakta kalıcı birikim göstermesi, ölçülen toprak organik karbon miktarını etkileyebilmekte ve bazı durumlarda toplam toprak karbonunun yaklaşık % 0,1–5'i düzeyinde mikroplastik kaynaklı katkılar oluşturabilmektedir (Rillig, 2018). Bu durum, mikroplastiklerin yalnızca bir kirletici olarak değil, aynı zamanda toprak karbon stoklarının değerlendirilmesinde yanıltıcı bir unsur olarak da dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Toprak faunası açısından değerlendirildiğinde ise, solucanlar başta olmak üzere bazı organizmaların mikroplastik parçacıkları ingest edebildiği ve bunun fizyolojik stres, büyüme parametrelerinde azalma ve davranışsal değişimlerle sonuçlanabileceği belirtilmektedir (Özkan Dağlıoğlu & Öztürk, 2024). Orman ekosistemlerinde ayrışma süreçlerinin ve besin döngüsünün büyük ölçüde toprak biyolojisine bağlı olduğu dikkate alındığında, plastik kökenli kalıcı girdilerin söz konusu süreçler üzerinde dolaylı etkiler oluşturabileceğine işaret eden bulgular bulunmaktadır.

#### 4.2.3. Ekosistem ölçeğinde değerlendirme

Orman toprakları, yüksek organik madde içeriği, karmaşık trofik etkileşimleri ve uzun süreli ekolojik sürekliliği nedeniyle hassas ve bütüncül işleyen sistemlerdir. Plastik polimerlerin doğal ortamda biyolojik olarak hızlı bir ayrışma göstermediği ve çoğunlukla fiziksel parçalanma süreçleriyle daha küçük fraksiyonlara dönüştüğü bilinmektedir

(Kubowicz & Booth, 2017). Bu durum, düşük yoğunluklu ancak sürekli girdiler halinde gerçekleşen plastik birikiminin zaman içinde kalıcı çevresel yük oluşturabileceğini düşündürmektedir. Literatürde, kronik ve düşük dozlu mikroplastik maruziyetinin başlangıçta belirgin etkiler göstermese dahi uzun vadede ekosistem işleyişi üzerinde birikimli sonuçlar doğurabileceği vurgulanmaktadır (Das & Alam, 2024). Bununla birlikte, literatürde yer alan çalışmaların büyük ölçüde laboratuvar ve kontrollü deneysel koşullarda, birim toprak kütlesi üzerinden farklı konsantrasyon birimleriyle yürütüldüğü; bu nedenle bu çalışmada hektar bazında tahmin edilen plastik yük ile doğrudan karşılaştırılmasının metodolojik açıdan sınırlı olduğu değerlendirilmektedir.

Çevresel mikroplastik kirliliğine yönelik artan ilgiye rağmen, mikroplastikler ile bitkiler arasındaki etkileşimler üzerine yapılan araştırmalar sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, mikroplastiklerin bitki dokularına girme ve çeşitli bitki kısımlarına taşınma potansiyeli vardır (Li vd., 2024), bu da bitki sağlığı ve gelişimi üzerinde bir dizi olumsuz etkiye yol açar (Zeb vd., 2023; Jia vd., 2023; De Almeida vd., 2023; Dhevagi vd., 2024). Kumar vd. (2022)'ye göre, bitkiler mikroplastiklerle kirlenmiş topraktan pasif difüzyon ve ozmotik alım yollarıyla etkilenebilir ve ardından vasküler sistem yoluyla bitki boyunca taşınabilir. Araştırmalar, mikroplastiklerin tohum çimlenmesini, kök uzamasını ve besin emilimini engelleyebileceğini, ayrıca oksidatif stresi, sitotoksisteyi ve genotoksisteyi tetikleyebileceğini göstermiştir (Jiang vd., 2019; Mondal vd., 2022). Mikroplastikler bitki gelişimini, mineral beslenmesini, fotosentezi ve metabolit üretimini değiştirebilir ve kökler tarafından emilerek bitkinin farklı kısımlarına taşınabilir (Dhevagi vd., 2024; Mészáros vd., 2023). Bu bağlamda, ormancılık uygulamalarında kullanılan plastik esaslı işaretleme materyallerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde ihtiyatlılık ilkesi çerçevesinde hareket edilmesi ve potansiyel riskler tam olarak ortaya konulmadan önce önleyici yaklaşımların geliştirilmesi sürdürülebilir ormancılık anlayışı ile uyumlu görünmektedir.

#### 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, Demirci orman işletmesi örneğinde ORKOD kullanımına bağlı olarak orman topraklarına girebilecek yıllık plastik yük kümülatif hesaplama ile analiz edilerek, bu plastik yükün uzun vadeli ekolojik etkileri literatür temelli bir risk

değerlendirmesi çerçevesinde incelenmiştir. Elde edilen bulgular, ORKOD sisteminin üretim süreçlerinin izlenebilirliği, denetlenebilirliği ve hukuki güvenliği açısından önemli bir teknik araç olduğunu açıkça göstermektedir. Dijital entegrasyon sağlayan ve kesim sürecini kontrol altına alan bu sistem, sürdürülebilir ormancılık uygulamalarının yönetsel boyutuna önemli katkı sunmaktadır.

Bununla birlikte, plastik esaslı işaretleme materyalinin kesim sonrası dip kütük üzerinde bırakılması ve zamanla toprak ortamına karışması, düşük yoğunluklu ancak süreklilik arz eden bir plastik girdisi oluşturmaktadır. Plastik polimerlerin doğal ortam koşullarında hızlı bir biyobozunuma uğramadığı dikkate alındığında, bu girdinin uzun vadede kümülatif bir çevresel yük oluşturabileceği değerlendirilmektedir. Başlangıçta sınırlı görünen miktarların, yıllar içinde birikim yoluyla artması ve fiziksel parçalanma süreçleri sonucunda mikropplastik formuna dönüşmesi, orman topraklarının fiziksel ve biyolojik işleyişi bakımından önem arz etmektedir. Bu nedenle ORKOD'un teknik faydası ile çevresel sürdürülebilirlik boyutu birlikte ele alınmalıdır.

Bu çerçevede, öncelikle ORKOD üretiminde biyobozunur veya kontrollü parçalanabilir polimerlerin kullanımının değerlendirilmesi önerilmektedir. Endüstriyel kompostlanabilir ya da doğal ortamda daha kısa sürede ayrışabilen malzemelerin tercih edilmesi, uzun vadeli kalıcılık riskini azaltabilir. İkinci olarak, kesim sonrası ORKOD etiketlerinin sistematik biçimde geri toplanmasına yönelik bir uygulama protokolü geliştirilebilir. Özellikle üretim sonrası saha kontrolleri sırasında etiketlerin sökülerek geri kazanıma yönlendirilmesi, uygun saha koşullarında ve belirli üretim alanlarında uygulanması halinde toprakta kalıcı plastik birikiminin azaltılmasına katkı sağlayabilir.

Alternatif bir yaklaşım olarak, plastik etiket yerine doğrudan gövde üzerine uygulanabilen ve çevresel kalıntı bırakmayan QR kodlu boya sistemleri değerlendirilebilir. Avrupa'da ve gelişmiş ormancılık uygulamalarına sahip ülkelerde, kesilecek ağaçların işaretlenmesinde boya bazlı numaralandırma, dijital veri tabanı entegrasyonu ve uzaktan okunabilir işaretleme teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde, yeniden kullanılabilir RFID tabanlı sistemlerin tercih edilmesi ve etiketlerin kesim sonrası geri kazanılması da çevresel yükü azaltabilecek bir seçenek olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, ORKOD sistemi ormancılık faaliyetlerinde denetim ve izlenebilirlik açısından önemli bir yenilik olmakla birlikte, plastik esaslı materyal kullanımının uzun vadeli çevresel etkileri sürdürülebilirlik perspektifiyle yeniden ele alınmalıdır. İhtiyatlılık ilkesi çerçevesinde, teknik işlevsellik ile ekolojik sorumluluk arasında dengeli bir yaklaşım benimsenmesi ve çevreye duyarlı alternatif işaretleme yöntemlerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir ormancılık politikalarının güçlendirilmesine katkı sağlayacaktır. OGM bünyesinde her yıl geniş alanlarda gerçekleştirilen üretim faaliyetleri dikkate alındığında, plastik esaslı işaretleme materyallerinin orman topraklarında oluşturduğu birikimin, meşcerelerin idare süresi boyunca gerçekleştirilen bakım ve gençleştirme müdahaleleri çerçevesinde hesaplanabilir olduğu ve bu birikimin literatürde farklı ortamlarda rapor edilen plastik yük değerleri ile karşılaştırılmasının mümkün olduğu değerlendirilmektedir. Bu çalışma kümülatif çevresel yükün sahada bırakacağı etkilerin bir göstergesi olarak sınırlı bir çalışma alanı için elde edilen nicel verilerin değerlendirildiği öncü bir çalışma niteliği taşımaktadır.

## Makale Bilgileri

**Finansal Açıklama:** Yazar(lar) bu çalışmanın araştırılması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

**Yazarların Katkıları:** Konsept: G.İ.M.; Tasarım: M.M.; Danışmanlık: G.İ.M.; Kaynaklar: M.M.; Veri Toplama: G.İ.M.; Analiz: G.İ.M.; Literatür Taraması: G.İ.M., M.M.; Makale Yazımı: G.İ.M., M.M.; Eleştirel İnceleme: M.M.

**Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar:** Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

**Etik Komite Onayı:** Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

## Kaynaklar

Akça, M. O., & Ok, S. S. (2021). Toprak ekosistemi üzerine mikropplastiklerin etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(2), 79–91.

Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines

worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175–9179.

Cao, D., Wang, X., Luo, X., Liu, G., & Zheng, H. (2017). Effects of polystyrene microplastics on the fitness of earthworms in an agricultural soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 61(3), 012148.

Chen, Y., Li, Y., Liang, X., Lu, S., Ren, J., Zhang, Y., Han, Z., & Sun, K. (2024). Effects of microplastics on soil carbon pool and terrestrial plant performance. *Carbon Research*, 3(1), 37.

Cheng, Q. G., Feng, S. S., Wang, H. D., & Wang, Y. (2023). A review of the occurrence and degradation of biodegradable microplastics in soil environments. *Science of the Total Environment*, 904, 166855.

Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Palma, A. T., Navarro, S., García-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernández-de-Puelles, M. L., & Duarte, C. M. (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(28), 10239–10244.

Das, J., & Alam, A. K. M. R. (2024). Effects of microplastics polluted soil on the growth of *Solanum lycopersicum* L. *Environmental Systems Research*, 13(36), 2-15.

De Almeida, M. P., Gaylarde, C. C., Baptista Neto, J. A., Delgado, J. D. F., Lima, L. D. S., Neves, C. V., Pompermayer, L. L. D. O., Vieira, K., & da Fonseca, E. M. (2023). The prevalence of microplastics on the earth and resulting increased imbalances in biogeochemical cycling. *Water, Emerging Contaminants & Nanoplastics*, 2(7), 3-21.

Dhevagi, P., Keerthi Sahasa, R. G., Poornima, R., & Ramya, A. (2024). Unveiling the effect of microplastics on agricultural crops—A review. *International Journal of Phytoremediation*, 26(6), 793–815.

Guo, J. J., Huang, X. P., Xiang, L., Wang, Y. Z., Li, Y. W., Li, H., Cai, Q. Y., Mo, C. H., & Wong, M. H. (2020). Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environment International*, 137, 105263.

Ingraffia, R., Amato, G., Bagarello, V., Carollo, F. G., Giambalvo, D., Iovino, M., Lehmann, A., Rillig, M.

C., & Frenda, A. S. (2022). Polyester microplastic fibers affect soil physical properties and erosion as a function of soil type. *Soil Discussions*, 8(1), 421-435.

Jia, L., Liu, L., Zhang, Y., Fu, W., Liu, X., Wang, Q., Tanveer, M., & Huang, L. (2023). Microplastic stress in plants: Effects on plant growth and their remediations. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1226484.

Jiang, X., Chen, H., Liao, Y., Ye, Z., Li, M., & Klobučar, G. (2019). Ecotoxicity and genotoxicity of polystyrene microplastics on higher plant *Vicia faba*. *Environmental Pollution*, 250, 831–838.

Kaya, F. (2005). Ana hatlarıyla plastikler ve katkı maddeleri. Birsen Yayınevi.

Kubowicz, S., & Booth, A. M. (2017). Biodegradability of plastics: Challenges and misconceptions. *Environmental Science & Technology*, 51, 12058–12060.

Kumar, R., Ivy, N., Bhattacharya, S., Dey, A., & Sharma, P. (2022). Coupled effects of microplastics and heavy metals on plants: Uptake, bioaccumulation, and environmental health perspectives. *Science of the Total Environment*, 836, 155619.

Li, W., Zhao, J., Zhang, Z., Ren, Z., Li, X., Zhang, R., & Ma, X. (2024). Uptake and effect of carboxyl-modified polystyrene microplastics on cotton plants. *Journal of Hazardous Materials*, 466, 133581.

Liu, H., Yang, X., Liu, G., Liang, C., Xue, S., Chen, H., Ritsema, C., J., & Geissen, V. (2017). Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil. *Chemosphere*, 185, 907–917.

Mészáros, E., Bodor, A., Kovács, E., Papp, S., Kovács, K., Perei, K., & Feigl, G. (2023). Impacts of plastics on plant development: Recent advances and future research directions. *Plants*, 12(18), 3282.

Mondal, N. K., Kundu, S., Debnath, P., Mondal, A., & Sen, K. (2022). Effects of polyethylene terephthalate microplastic on germination, biochemistry and phytotoxicity of *Cicer arietinum* L. and cytotoxicity study on *Allium cepa* L. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 94, 103908.

Monkul, M. M., & Özhan, H. O. (2021). Microplastic contamination in soils: A review from geotechnical engineering view. *Polymers*, 13(23), 4129.



Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2022). Global plastics outlook: Policy scenarios to 2060. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/aa1edf33-en> (Erişim tarihi: 8 Ocak 2026).

Orman Genel Müdürlüğü (OGM). (2025a). İzmir Orman Bölge Müdürlüğü. <https://www.ogm.gov.tr/izmirobm/kurulusumuz/genel-bilgiler> (Erişim tarihi: 8 Ocak 2026).

Orman Genel Müdürlüğü (OGM). (2025b). İzmir Orman Bölge Müdürlüğü Demirci Orman İşletme Müdürlüğü. <https://www.ogm.gov.tr/izmirobm/kurulusumuz/demirci-orman-isletme-mudurlugu> (Erişim tarihi: 10 Ocak 2026).

Orman Genel Müdürlüğü (OGM). (2025c). Yenilikçi barkod sistemi ORKOD uygulamasıyla orman ürünleri takip edilecek. <https://www.ogm.gov.tr/mersinobm/haberler/yenilikci-barkod-sistemi-orkod-uygulamasiyla-orman-urunleri-takip-edilecek> (Erişim tarihi: 20 Ocak 2026).

Özkan Dağlıoğlu, Y., & Öztürk, B. Y. (2024). Topraktaki mikro ve nanoplastiklerin kaynakları ve ekotoksikolojik etkiler. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 17(1), 60–78.

Qiu, Y., Zhou, S., Zhang, C., Zhou, Y., & Qin, W. (2022). Soil microplastic characteristics and the effects on soil properties and biota: A systematic review and meta-analysis. Environmental Pollution, 313, 120183.

Resmî Gazete (2024). Ormancılık faaliyetlerinde kullanılacak damga veya damga yerine geçecek işaretlere ait yönetmelik (Sayı: 32620). <https://resmigazete.gov.tr/eskiler/2024/08/20240802-17.htm> (Erişim tarihi: 15 Ocak 2026).

Rillig M. C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? Environmental Science Technology, 46(12), 6453–6454.

Rillig M. C. (2018). Microplastic disguising as soil carbon storage. Environmental Science Technology, 52(11), 6079–6080.

Rillig, M. C., & Lehmann, A. (2020). Microplastic in terrestrial ecosystems. Science, 368(6498), 1430–1431.

Taşlı, İ. (1992). Demirci'nin coğrafyası [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi].

Withana, P. A., Yuan, X., Im, D., Choi, Y., Bank, M. S., Lin, C. S. K., & Ok, Y. S. (2025). Biodegradable plastics in soils: Sources, degradation, and effects. Environmental Science: Processes & Impacts, 27(11), 3321–3343.

Yang, L., Zhang, Y., Kang, S., Wang, Z., & Wu, C. (2021). Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. Science of the Total Environment, 780, 146546.

Zeb, A., Liu, W., Ali, N., Shi, R., Wang, Q., Wang, J., Li, J., Yin, C., Liu, J., Yu, M., & Liu, J. (2023). Microplastic pollution in terrestrial ecosystems: Global implications and sustainable solutions. Journal of Hazardous Materials, 461, 132636.